数字 SNARC 效应的发生阶段

王铖铖[2,3]　赵宇飞[1]　盛缨莹[2,3]　赵庆柏[2,3]

肖梦施[1]　韩　磊[1]

([1]山东师范大学心理学院, 济南 250000) ([2]青少年网络心理与行为教育部重点实验室; [3]人的发展与心理健康湖北省重点实验室, 华中师范大学心理学院, 武汉 430079)

摘　要　目前关于数字 SNARC 效应发生在早期的刺激表征阶段还是晚期的反应选择阶段的结果不一。本研究通过 3 个实验探究了其发生阶段。采用整体−局部范式，构建了一种复合实验刺激——由数字构成的箭头，并以此为实验材料，分别要求被试比较数字大小（箭头方向的整体优先表征干扰数字的空间表征）和判断箭头方向（箭头方向判断任务在反应选择阶段与数字加工产生反应竞争）。结果发现，水平方向干扰数字的空间表征阻碍了数字 SNARC 效应产生（实验 1a）；垂直方向干扰数字的空间表征对数字 SNARC 效应没有影响（实验 1b）；干扰反应选择阶段阻碍了数字 SNARC 效应产生（实验 2）。实验结果表明干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段都会影响数字 SNARC 效应的产生，支持数字 SNARC 效应的双阶段加工模型。

关键词　整体−局部范式, 数字 SNARC 效应, 早期刺激表征阶段, 晚期反应[1]选择阶段

1　问题提出

Dehaene 等人(1990)偶然发现当个体对数字进行大小判断时，左手对小数的反应快于右手，而右手对大数的反应快于左手。Dehaene 等人(1993)采用奇偶判断任务进一步探究该现象的发生机制，结果发现，即使在双手交叉（即要求被试用左手按右键反应，右手按左键反应）的情况下，数字大小和左右空间方位之间的关联仍然存在，即小数与左方位相联，大数与右方位相联，他们把这种关联命名为空间−数字反应编码联合效应(Spatial-Numerical Association of Response Codes effect)，即 SNARC 效应。在此之后，SNARC 效应一直是研究者们所关注的焦点，并被证明具有广泛存在性(徐晓东, 刘昌, 2006; 康武等, 2013; 颜丽珠等, 2022)。

然而，数字 SNARC 效应的发生阶段目前尚存争议。有研究者认为数字 SNARC 效应发生在早期的刺激表征阶段(Fischer et al., 2004; Tlauka, 2002)；有研究者认为发生在晚期的反应选择阶段(Gevers et al., 2005; Gevers, Ratinckx et al., 2006; Keus et al., 2005; Keus & Schwarz, 2005)；有研究者则认为同时发生在早期的刺激表征阶段和晚期的反应选择阶段(Nan et al., 2021; Xiang et al., 2022; 颜丽珠等, 2022)。

当前，研究者主要采用加法反应时的实验范式来探讨数字 SNARC 效应的发生阶段(Tlauka, 2002; Gervers et al., 2005; Nan et al., 2021)。依据加法反应时的实验逻辑(Sternberg, 1969)，如果两个认知过程表现出交互作用，那么两者发生在同一加工阶段；而如果两个认知过程相互独立，那么两者发生在不同的加工阶段。经典的 Stroop 效应(Stroop, 1935)被验证发生在刺激表征阶段(Li et al., 2014; Scerrati et al., 2017)，而经典的 Simon 效应(Simon & Rudell, 1967)被验证发生在反应选择阶段。据此，若数字 SNARC 效应和 Stroop 效应/Simon 效应相互独立，说明其发生在反应选择阶段/刺激表征阶段；若数字 SNARC 效应和 Stroop 效应/Simon 效应产生了交互作用，说明其发生在刺激表征阶段/反应选择阶段。Tlauka(2002)将数字“1”和“100”（实验 1）以及“100”和“900”（实验 2）分别作为实验材料呈现在屏幕两侧，并要求被试进行左/右按键反应，结果同时发现了数字 SNARC 效应和 Simon 效应，并认为两者相互独立，据此推断，数字 SNARC 效应发生在刺激表征阶段。与之相对，Gevers 等人(2005)在数字大小无关任务（奇偶判断任务；实验 1）和数字大小相关任务（数字大小比较任务；实验 2）中均发现了数字 SNARC 效应和 Simon 效应之间的交互作用，并认为数字 SNARC 效应发生在反应选择阶段。近期研究逐渐指向数字 SNARC 效应同时存在于刺激表征阶段和反应选择阶段。例如，Nan 等人(2021)依据加法反应时的实验逻辑开展了两个实验，结果同时在数字 SNARC 效应和 Stroop 效应之间（实验 1）、数字 SNARC 效应和 Simon 效应之间（实验 2）发现了交互作用，并由此认为数字 SNARC 效应同时存在于刺激表征阶段和反应选择阶段。Xiang 等人(2022)在 Nan 等人(2021)和 Yan 等人(2021)的实验范式的基础上开展了四项系列实验，结果发现相比于数量信息任务相关性（在大小比较任务中引入奇偶 Stroop 效应），干扰信息数量相关性（在奇偶判断任务中引入大小 Stroop 效应）是影响数字 SNARC 效应发生阶段变化的关键因素，并认为数字 SNARC 效应同时发生在刺激表征阶段和反应选择阶段。由此可见，已有研究采用加法反应时的实验范式来探究数字 SNARC 效应的发生阶段，虽然已经得到了丰富的实验证据，但研究结论并不一致。导致该现象的一个可能原因是在不同的研究中，研究者采用了不同的实验刺激和实验任务，然而，却套用同一个“黄金法则”（即加法反应时的实验逻辑）来解释实验结果。对该实验范式的单一使用使得相

关研究忽视了对具体实验任务中具体加工过程的关注，不利于不同研究结果之间的比较和整合。

本研究依据整体-局部范式，创新性地提出了一种复合实验材料——由数字构成的箭头，并分别操纵被试的注意指向局部信息（进行数字大小比较任务；实验 1）和整体信息（进行箭头方向判断任务；实验 2），拟尝试操纵两个加工阶段，分别探究干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段会对数字 SNARC 效应产生怎样的影响，以此确定数字 SNARC 效应的发生阶段。

Navon(1977)发现当个体有意知觉局部特征时，会受到整体特征的影响，该现象被称为整体优先策略。若将数字作为局部信息，箭头作为整体特征，要求被试进行数字大小比较任务，根据整体优先策略，个体将优先对箭头方向进行表征，从而干扰到数字的空间表征，此时便可以探究干扰刺激表征阶段对数字 SNARC 效应产生的影响。具体而言，若此时数字 SNARC 效应消失，则说明刺激表征阶段对数字 SNARC 效应的产生具有决定性作用。水平方向的箭头和垂直方向的箭头都会通过干扰数字的空间表征来影响数字 SNARC 效应的产生吗？根据 Dehaene 等人(1993)提出的心理数字线(the mental number line, 简称 MNL)理论，人们对数字进行心理表征时，依据得是一条从左端小数到右端大数的数字线，由此，水平方向的箭头可以通过干扰数字的空间表征来影响数字 SNARC 效应，而垂直方向的箭头并不能干扰数字在水平方向的空间表征，从而无法影响数字 SNARC 效应。本研究分别在实验 1a 和实验 1b 中对此进行了检验。在实验 2 中，若以数字构成的箭头为实验材料，要求被试进行箭头方向判断任务，此时，数字可以被自动化加工并产生心理数字线的表征(Dehaene & Akhavein, 1995; Gevers, Verguts, et al., 2006; Casarotti et al., 2007; 颜丽珠等, 2022)，且有研究表明无意识信息存在刺激表征(罗婷等, 2018)，也就是说，此时数字可以在无意识层面进行充分地空间表征。但由于实验任务为判断箭头方向，数字加工和箭头方向加工在反应选择阶段会产生竞争，此时，便可以探究干扰反应选择阶段对数字 SNARC 效应产生的影响。具体而言，若此时数字 SNARC 效应消失，则说明反应选择阶段对数字 SNARC 效应的产生具有决定性作用。

实验 1 干扰刺激表征阶段对数字 SNARC 效应的影响

2 实验 1a：水平方向干扰刺激表征对数字 SNARC 效应的影响

2.1 方法

2.1.1 被试

在山东师范大学招募到 40 名（女 27，男 13）在校大学生自愿参与实验。年龄范围为 19-35 岁，平均年龄为 22.03(SD = 2.93)岁。所有被试视力或矫正视力均正常，无色盲色弱，无任何精神疾病史，均为右利手，均为汉族人，在此之前均未参加过类似实验，实验结束后获得相应报酬。

2.1.2 实验设计

采用 2（数字大小：小数、大数）×3（箭头方向：左、右、左右双向）×2（反应手：左手、右手）的被试内实验设计。其中，一位数的阿拉伯数字 1 和 2 代表小数，8 和 9 代表大数。因变量为正确率和反应时。

2.1.3 实验材料

实验材料为由阿拉伯数字 1/2/8/9 构成的箭头。使用 Photoshop CS6 软件编制实验材料，选用字体 Times New Roman，黑色数字大小为 48 点，箭头呈现在屏幕中央。被试坐在距离计算机 70cm 处，视角大小为 10°×6°，屏幕分辨率为 1024×768 像素，屏幕底色为黑色，刷新频率 60Hz。实验材料如图 1 所示。

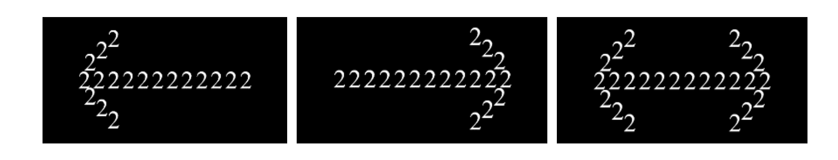


图 1 由小数 2 构成的箭头（左箭头、右箭头和双向箭头）

2.1.4 实验程序

采用 E-prime2.0 软件编程。实验前要求被试将左手食指放在键盘的“F”键上，右手食指放在“J”键上。实验程序为：屏幕中央先呈现注视点“+”500ms，接着呈现由数字构成的箭头，被试需将组成复合刺激的数字与“5”进行大小比较并做出相应的按键反应，随后出现 1500ms 的空屏，继而进入下一个 trial。实验包含两个 block，在 block 1 中，若数字小于 5，则按“F”键，若数字大于 5，则按“J”键；在 block 2 中，若数字小于 5，则按“J”键，若数字大于 5，则按“F”键。两个 block 的先后顺序在被试间平衡。每个 block 均包括 12 个练习试次和 144 个正式试次，在两个 block 之间被试自行选择休息时间，休息结束后按“P”键继续实验。整个实验大约 16min。

2.2 结果与分析

各实验水平下的正确率如下表 1 所示。由于实验任务较为简单，描述统计结果显示被试在各水平下的正确率均高于 95%，因此，不对正确率进行进一步的推断统计分析。被试的错

误率在 0.35%到 14.93%之间，平均错误率为 4.31%($SD = 0.03$)。删除被试未按指导语准确作答的试次，删除反应时大于 1000ms 的试次，删除反应时在平均数上下 3 个标准差之外的试次，共删除 4.94%的数据，各水平下剩余有效数据的反应时如下表 2 所示。

表 1 实验 1a 各水平下的正确率 ($M \pm SD$; %)

反应手	左箭头		右箭头		双向箭头	
	小数	大数	小数	大数	小数	大数
左手	99.06 ± 2.00	98.75 ± 3.56	96.56 ± 4.89	96.25 ± 4.60	98.54 ± 2.01	99.17 ± 2.35
右手	95.73 ± 5.04	96.67 ± 3.68	98.75 ± 2.35	99.27 ± 1.60	98.23 ± 2.29	98.65 ± 3.32

表 2 实验 1a 各水平下的反应时 ($M \pm SD$; ms)

反应手	左箭头		右箭头		双向箭头	
	小数	大数	小数	大数	小数	大数
左手	490 ± 61	505 ± 67	540 ± 67	548 ± 64	525 ± 71	520 ± 67
右手	533 ± 68	543 ± 72	507 ± 66	501 ± 76	520 ± 75	516 ± 78

对剩余试次的反应时进行三因素重复测量方差分析，结果显示，数字大小的主效应不显著，$F(1, 39) = 0.821, p = 0.370, \eta_p^2 = 0.021$。箭头方向的主效应不显著，$F(2, 78) = 2.429, p = 0.095, \eta_p^2 = 0.059$。反应手的主效应不显著，$F(1, 39) = 0.079, p = 0.780, \eta_p^2 = 0.002$。数字大小和反应手的交互作用不显著，$F(1, 39) = 0.274, p = 0.604, \eta_p^2 = 0.007$，即数字 SNARC 效应不显著。数字大小、箭头方向和反应手的三项交互作用不显著，$F(2, 78) = 1.136, p = 0.326, \eta_p^2 = 0.028$，这说明数字 SNARC 效应在左箭头、右箭头和左右双向箭头这三个水平之间不存在显著差异。

箭头方向和反应手的交互作用显著，$F(2, 78) =84.281, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.684$。如下图 2 所示，进一步的简单效应分析发现，当实验刺激为左向箭头时，左手的反应显著快于右手，$F(1, 39) =61.378, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.611$；当实验刺激为右向箭头时，右手的反应显著快于左手，$F(1, 39) = 34.228, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.467$；当实验刺激为双向箭头时，左手和右手的反应时无显著差异，$F(1, 39) = 0.534, p = 0.469, \eta_p^2 = 0.014$。

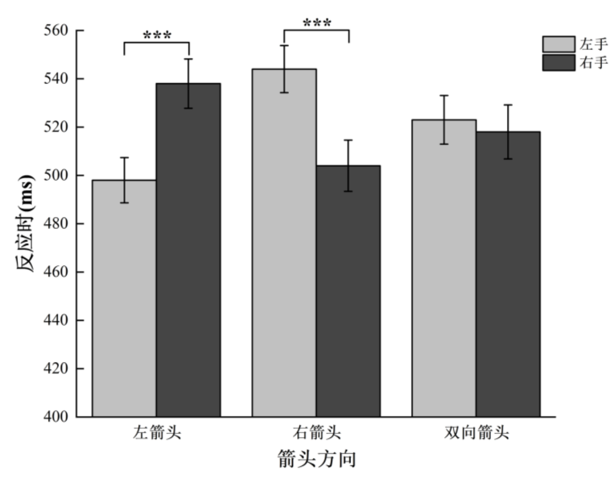


图 2 箭头方向和反应手的交互作用

注：误差线表示标准误 *SE*, *** $p < 0.001$

数字大小和箭头方向的交互作用显著，$F(2, 78) = 4.234$, $p = 0.018$, $\eta_p^2 = 0.098$。如下图 3 所示，进一步的简单效应分析显示，当实验刺激为左向箭头时，被试对小数的反应显著快于大数，$F(1, 39) = 7.433$, $p = 0.010$, $\eta_p^2 = 0.160$；当实验刺激为右向箭头时，被试对小数和大数的反应时不存在显著差异，$F(1, 39) = 0.070$, $p = 0.792$, $\eta_p^2 = 0.002$；当实验刺激为双向箭头时，被试对小数和大数的反应时没有显著差异，$F(1, 39) = 0.976$, $p = 0.329$, $\eta_p^2 = 0.024$。

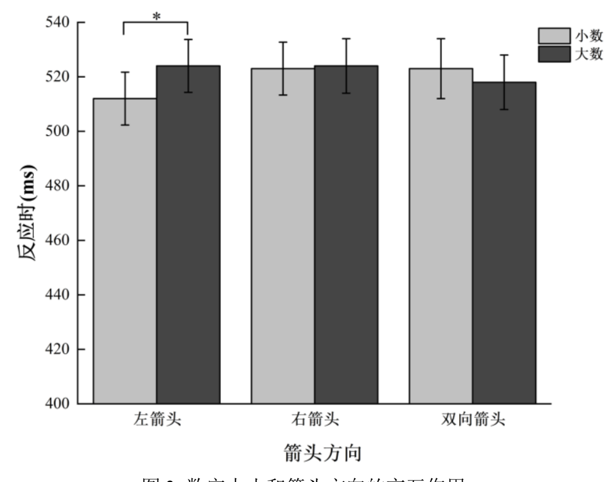


图 3 数字大小和箭头方向的交互作用

注：误差线表示标准误 *SE*, * $p < 0.05$

贝叶斯因子是贝叶斯统计中用来进行模型比较和假设检验的重要方法，贝叶斯因子分析结果可以同时显示对零假设 H_0 和备择假设 H_1 的支持程度，从而为心理学研究提供更加丰富的结果信息(王允宏等, 2023; 胡传鹏等, 2018; 吴凡等, 2018)。本研究在传统假设检验的基础上，使用 JASP 软件进一步进行贝叶斯方差分析，以说明对零假设和备择假设的支持程度，

进而丰富对实验结果的分析与解释。

参考以往研究者对贝叶斯因子数值大小标准的划分(Jeffreys, 1961; Wagenmakers et al., 2017)，对实验 1a 的数据进行贝叶斯三因素重复测量方差分析，结果显示当前数据有中等程度的证据支持不存在数字大小($BF_{incl} = 0.269$)、箭头方向($BF_{incl} = 0.221$)和反应手($BF_{incl} = 0.253$)的主效应；有极强的证据支持不存在数字大小、箭头方向和反应手之间的三项交互作用($BF_{incl} = 2.918 \times 10^{-4}$)；有较弱的证据支持存在数字大小和箭头方向的交互作用($BF_{incl} = 1.967$)。更重要的是，当前数据有极强的证据支持存在箭头方向和反应手的交互作用($BF_{incl} = 1.867 \times 10^{17}$)，并且有极强的证据支持不存在数字大小和反应手的交互作用($BF_{incl} = 0.008$)。

2.3 讨论 1a

实验 1a 未出现数字 SNARC 效应，而出现了类 Simon 效应。根据整体优先策略(Navon, 1977)，被试对左右箭头方向的整体表征干扰了对局部数字的空间表征，从而阻碍了数字 SNARC 效应的产生，这说明刺激表征阶段对数字 SNARC 效应的产生具有决定性作用。左右箭头优先表征激活了左右位置的反应编码，从而与左右手反应相对应，产生类 Simon 效应，表现为左手对左箭头反应更快而右手对右箭头反应更快。

实验 1a 还发现了数字大小和箭头方向之间的交互作用，具体表现在左箭头在一定程度上加速了被试对小数的判断或者说干扰了对大数的判断。这说明整体信息加工和局部信息加工之间发生了交互，并共同对被试反应产生了影响，支持本研究所认为得在加工早期，整体加工影响局部加工的前提假设，与何华等人(2015)的研究结论具有一致性。何华等人(2015)以局部阿拉伯数字组成的整体阿拉伯数字为实验材料，要求被试进行数字大小比较任务，结果并未发现整体加工优势，并认为整体可能在早期知觉过程就得到加工，而随着加工过程增加，在末期可能会出现局部加工追赶上整体加工，而此时整体加工优势就未必能显现。

3 实验 1b：垂直方向干扰刺激表征对数字 SNARC 效应的影响

3.1 方法

3.1.1 被试

在山东师范大学招募到 40 名（女 25，男 15）在校大学生自愿参与实验。年龄范围为 18-25 岁，平均年龄为 20.58($SD = 1.81$)岁。所有被试视力或矫正视力均正常，无色盲色弱，无任何精神疾病史，均为右利手，均为汉族人，在此之前均未参加过类似实验，实验结束后获得相应报酬。

3.1.2 实验设计

采用 2（数字大小：小数、大数）×3（箭头方向：上、下、上下双向）×2（反应手：左手、右手）的被试内实验设计。其中，一位数的阿拉伯数字 1 和 2 代表小数，8 和 9 代表大数。因变量为正确率和反应时。

3.1.3 实验材料

实验材料为由阿拉伯数字 1/2/8/9 构成的箭头。使用 Photoshop CS6 软件编制实验材料，选用字体 Times New Roman，黑色数字大小为 48 点，箭头呈现在屏幕中央。被试坐在距离计算机 70cm 处，视角为 4.4°×9°，屏幕分辨率为 1024×768 像素，屏幕底色为黑色，刷新频率 60Hz。实验材料如图 4 所示。

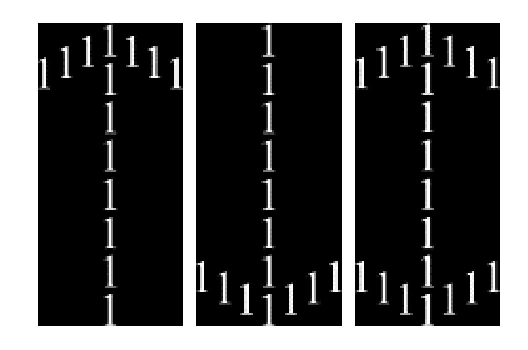


图 4 由小数 1 构成的箭头（上箭头、下箭头和上下双向箭头）

3.1.4 实验程序

采用 E-prime2.0 软件编程。除了呈现的实验材料不同之外，实验任务和实验程序均与实验 1a 一致。整个实验大约 16min。

3.2 结果与分析

如下表 3 所示，实验 1b 中各水平下的正确率均高于 97%。被试的错误率在 0.35%到 22.22%之间，平均错误率为 4.01%($SD = 0.05$)。删除被试未按指导语准确作答的试次，删除反应时大于 1000ms 的试次，删除反应时在平均数上下 3 个标准差之外的试次，共删除 4.64%的数据，剩余试次的反应时如下表 4 所示。

表 3 实验 1b 各水平下的正确率 ($M \pm SD$; %)

反应手	上箭头		下箭头		双向箭头	
	小数	大数	小数	大数	小数	大数
左手	98.33 ± 2.80	98.13 ± 4.11	97.60 ± 3.25	97.81 ± 3.77	98.13 ± 2.98	98.23 ± 3.25
右手	97.08 ± 4.74	98.65 ± 3.18	98.13 ± 3.40	98.23 ± 2.97	97.19 ± 3.70	98.44 ± 2.62

表 4 实验 1b 各水平下的反应时 ($M \pm SD$; %)

反应手	上箭头		下箭头		双向箭头	
	小数	大数	小数	大数	小数	大数
左手	489 ± 74	513 ± 87	492 ± 81	518 ± 85	489 ± 77	511 ± 81
右手	505 ± 80	486 ± 81	495 ± 80	477 ± 78	505 ± 75	483 ± 79

对剩余试次的反应时进行三因素重复测量方差分析，结果显示，数字大小的主效应不显著，$F(1, 39) = 0.581, p = 0.451, \eta_p^2 = 0.015$。箭头方向的主效应不显著，$F(2, 78) = 0.609, p = 0.547, \eta_p^2 = 0.015$。反应手的主效应显著，右手的反应显著快于左手，$F(1, 39) = 7.028, p = 0.012, \eta_p^2 = 0.153$。数字大小和箭头方向的交互作用不显著，$F(2, 78) = 0.559, p = 0.574, \eta_p^2 = 0.014$。数字大小、箭头方向和反应手的三项交互作用不显著，$F(2, 78) = 0.017, p = 0.983, \eta_p^2 = 0.000$。

箭头方向和反应手的交互作用显著，$F(2, 78) = 4.258, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.098$。进一步的简单效应分析表明，当实验刺激为上箭头时，左手和右手的反应时没有显著差异，$F(1, 39) = 1.103, p = 0.300, \eta_p^2 = 0.028$；当实验刺激为下箭头时，右手的反应显著快于左手，$F(1, 39) = 13.501, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.257$；当实验刺激为上下双向箭头时，左手和右手的反应时没有显著差异，$F(1, 39) = 2.144, p = 0.151, \eta_p^2 = 0.052$。

数字大小和反应手的交互作用显著，$F(1, 39) = 15.939, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.290$，即数字 SNARC 效应显著。如下图 5 所示，进一步的简单效应分析表明，左手对小数的反应显著快于大数，$F(1, 39) = 19.019, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.328$；右手对大数的反应显著快于小数，$F(1, 39) = 9.055, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.188$。

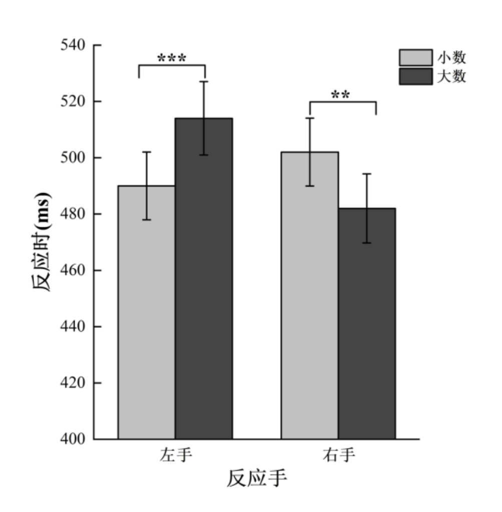


图 5 数字大小和反应手的交互作用

注：误差线表示标准误 *SE*, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

对实验 1b 的数据进行贝叶斯三因素重复测量方差分析，结果显示当前数据有中等程度的证据支持不存在数字大小的主效应(BF_{incl} = 0.288)，有较强的证据支持不存在箭头方向的主效应(BF_{incl} = 0.086)，有中等程度的证据支持存在反应手的主效应(BF_{incl} = 4.686)，有中等程度的证据支持不存在数字大小和箭头方向的交互作用(BF_{incl} = 0.120)，有较强的证据支持不存在数字大小、箭头方向和反应手的三项交互作用(BF_{incl} = 0.082)。更重要的是，当前数据有非常强的证据支持存在数字大小和反应手的交互作用(BF_{incl} = 64.391)，即数字 SNARC 效应，而有较弱的证据支持箭头方向和反应手的交互作用(BF_{incl} = 2.463)。

3.3 讨论 1b

实验 1b 出现数字 SNARC 效应，这说明使用垂直方向的箭头来干扰数字加工的刺激表征并不会影响数字 SNARC 效应的产生，支持 Dehaene 等人(1993)的心理数字线理论。

实验 1a 中的“箭头方向和反应手的交互作用”可以看作是类 Simon 效应的结果指标。与之不同，对实验 1b 中“箭头方向和反应手的交互作用”进行简单效应分析后发现，交互作用仅体现在右手对下箭头的反应快于左手，这说明被试的右利手优势主要发生在实验刺激为下箭头时。

4 实验 2：干扰反应选择阶段对数字 SNARC 效应的影响

4.1 方法

4.1.1 被试

在山东师范大学招募到 40 名（女 25，男 15）在校大学生自愿参与实验。年龄范围为 18-27 岁，平均年龄为 21.20(SD = 1.99)岁。所有被试视力或矫正视力均正常，无色盲色弱，无任何精神疾病史，均为右利手，均为汉族人，在此之前均未参加过类似实验，实验结束后获得相应报酬。

4.1.2 实验设计

采用 3（局部信息：小数、大数、特殊字符）×2（箭头方向：左、右）×2（反应手：左手、右手）的被试内实验设计。其中，小数和大数水平的实验材料与实验 1 一样，特殊字符为“*”。因变量为正确率和反应时。

4.1.3 实验材料

当自变量局部信息为小数和大数时，实验材料为由数字构成的左右箭头，如图 1 所示；当自变量局部信息为特殊字符时，实验材料为由特殊字符构成的箭头，如下图 6 所示。使用 Photoshop CS6 软件编制实验材料，选用字体 Times New Roman，黑色数字/特殊字符为 48 点，箭头呈现在屏幕中央。被试坐在距离计算机 70cm 处，视角为 10°×6°，屏幕分辨率为 1024×768 像素，屏幕底色为黑色，刷新频率 60Hz。



图 6 由特殊字符构成的箭头（左箭头和右箭头）

4.1.4 实验程序

实验前要求被试将左手食指放在键盘的“F”键上，右手食指放在“J”键上。实验程序为：屏幕中央先呈现注视点“+”500ms，接着随机呈现由数字/特殊字符构成的箭头，被试需判断箭头方向并做出相应按键反应，随后出现 1500ms 的空屏，继而进入下一个 trial。实验包含两个 block，在 block 1 中，若箭头向左，则按“F”键，若箭头向右，则按“J”键；在 block 2 中，若箭头向左，则按“J”键，若箭头向右，则按“F”键。两个 block 的先后顺序进行被试间平衡。每个 block 包括 10 个练习试次和 100 个正式试次，在两个 block 之间被试自行选择休息时间，休息结束后按“P”键继续实验。整个实验大约 12min。

4.2 结果与分析

如下表 5 所示，实验 2 中各水平下的正确率均高于 97%。被试的错误率在 0 到 5.42%之间，平均错误率为 1.60%($SD = 0.01$)。删除被试未按指导语准确作答的试次，删除反应时大于 1000ms 的试次，删除反应时在平均数上下 3 个标准差之外的试次，共删除 2.47%的数据，剩余试次的反应时如下表 6 所示。

表 5 实验 2 各水平下的正确率 ($M \pm SD$; %)

反应手	小数		大数		特殊字符	
	左箭头	右箭头	左箭头	右箭头	左箭头	右箭头
左手	99.25 ± 2.13	99.13 ± 2.75	99.00 ± 2.58	97.38 ± 3.92	98.50 ± 3.24	98.00 ± 2.95
右手	98.88 ± 2.11	98.25 ± 3.11	98.75 ± 2.72	99.25 ± 2.13	98.63 ± 2.99	99.13 ± 1.92

表 6 实验 2 各水平下的反应时 ($M \pm SD$; ms)

反应手	小数		大数		特殊字符	
	左箭头	右箭头	左箭头	右箭头	左箭头	右箭头
左手	388 ± 47	452 ± 78	383 ± 45	443 ± 69	383 ± 44	447 ± 76
右手	437 ± 73	385 ± 48	433 ± 71	381 ± 51	440 ± 79	382 ± 50

对剩余试次的反应时进行三因素重复测量方差分析，结果显示，局部信息的主效应显著，$F(2, 78) = 4.162, p = 0.019, \eta_p^2 = 0.096$，被试对由大数组成的箭头的反应显著快于由小数组成的箭头。箭头方向的主效应不显著，$F(1, 39) = 2.169, p = 0.149, \eta_p^2 = 0.053$。反应手的主效应显著，右手对箭头的反应显著快于左手，$F(1, 39) = 4.271, p = 0.045, \eta_p^2 = 0.099$。局部信息和箭头方向的交互作用不显著，$F(2, 78) = 0.361, p = 0.698, \eta_p^2 = 0.009$。局部信息和反应手的交互作用不显著，$F(2, 78) = 0.888, p = 0.415, \eta_p^2 = 0.022$。局部信息、箭头方向和反应手的三项交互作用不显著，$F(2, 78) = 0.652, p = 0.524, \eta_p^2 = 0.016$。

箭头方向和反应手的交互作用显著，$F(1, 39) = 58.512, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.600$。如下图 7 所示，进一步的简单效应分析结果显示，左手对左箭头的反应显著快于右箭头，$F(1, 39) = 63.258, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.619$；右手对右箭头的反应显著快于左箭头，$F(1, 39) = 39.396, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.503$。

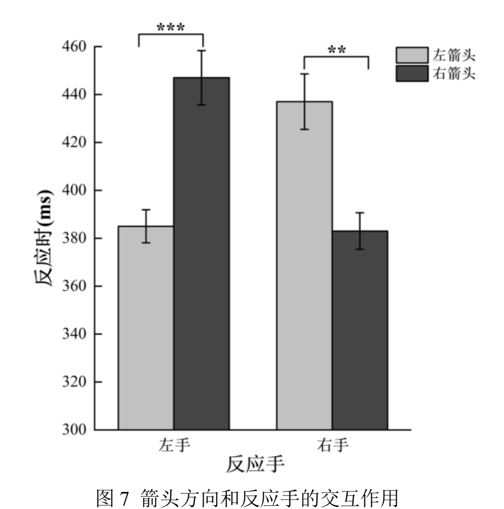


图 7 箭头方向和反应手的交互作用

注：误差线表示标准误 *SE*, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

对实验 2 的数据进行贝叶斯三因素重复测量方差分析，结果显示当前数据有较弱的证据支持不存在局部信息(BF_{incl} = 0.676)和箭头方向(BF_{incl} = 0.566)的主效应，有较弱的证据支持存在反应手的主效应(BF_{incl} = 1.336)。有较强的证据支持不存在局部信息和箭头方向的交

互作用($BF_{\text{incl}} = 0.087$)，有中等程度的证据支持不存在数字大小（仅纳入局部信息的小数和大数两个水平）和箭头方向的交互作用($BF_{\text{incl}} = 0.270$)。有中等程度的证据支持不存在局部信息、箭头方向和反应手之间的交互作用($BF_{\text{incl}} = 0.203$)。有中等程度的证据支持不存在局部信息和反应手的交互作用($BF_{\text{incl}} = 0.123$)以及数字大小和反应手的交互作用($BF_{\text{incl}} = 0.308$)。

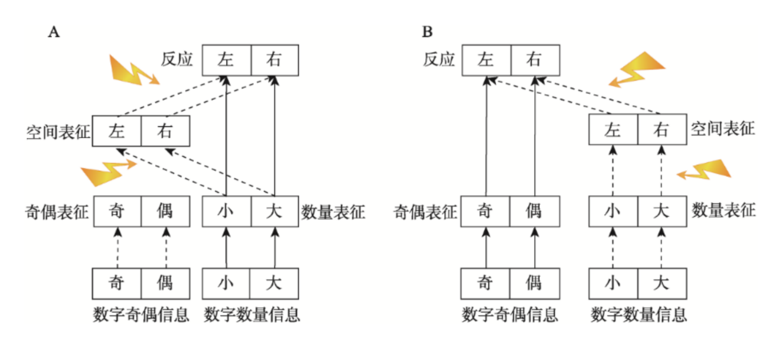
有极强的证据支持存在箭头方向和反应手的交互作用($BF_{\text{incl}} = 1.927 \times 10^6$)，进一步地，不管局部信息是数字($BF_{\text{incl}} = 3.142 \times 10^6$)还是特殊字符($BF_{\text{incl}} = 1.731 \times 10^{15}$)，都有极强的证据支持存在箭头方向和反应手的交互作用。

4.3 讨论 2

实验 2 的结果表明，以数字组成的箭头为实验材料，要求被试进行箭头方向判断任务，数字 SNARC 效应消失，这说明反应选择阶段对数字 SNARC 效应的产生具有重要作用。

5 总讨论

目前关于数字 SNARC 效应发生在早期的刺激表征阶段还是晚期的反应选择阶段的结果不一。本研究采用整体−局部范式，将数字大小作为局部信息，箭头方向作为整体信息，构建了一种复合刺激——由数字构成的箭头，分别要求被试进行数字大小比较任务（实验 1）和箭头方向判断任务（实验 2），从而来检验干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应发生的影响，是目前为数不多的从具体的认知加工过程角度出发来探究数字 SNARC 效应发生阶段的研究之一。研究结果显示，干扰数字加工的刺激表征阶段和反应选择阶段都会阻碍数字 SNARC 效应发生，在一定程度上支持数字 SNARC 效应的双阶段加工模型(颜丽珠等, 2022)。该模型（如图 8）分别展示了数量信息的任务相关加工通路模型（如图 8-A）和任务无关加工通路模型（如图 8-B），并认为在加工链路的任一环节施加干扰都会影响数字 SNARC 效应的产生。结合该加工模型，本研究的实验 1a 对图 8-A 中数量表征到空间表征之间的通路进行了干扰，实验 2 对图 8-B 中空间表征到反应之间的通路进行了干扰，结果发现干扰两加工通路均影响了数字 SNARC 效应的产生。下面分别就刺激表征阶段和反应选择阶段在数字 SNARC 效应中所起的作用进行讨论。



大小比较任务和奇偶判断任务中 SNARC 效应的双阶段加工模型。实线表示任务相关信息的加工通路，虚线表示任务无关信息的加工通路，闪电箭头表示 SNARC 效应产生链路的任一环节施加不同形式的干扰因素都会影响效应的产生。图 A 表示大小比较任务，数量信息为任务相关信息输入，奇偶信息为任务无关信息输入；图 B 表示奇偶判断任务，奇偶信息为任务相关信息输入，大小信息为任务无关信息输入。

图 8 双阶段加工模型(颜丽珠, 2022)

5.1 水平方向干扰刺激表征阻碍数字 SNARC 效应发生

实验 1a 和实验 1b 分别检验了干扰水平方向和垂直方向的刺激表征对数字 SNARC 效应的影响，结果发现，只有水平方向干扰刺激表征才会阻碍数字 SNARC 效应产生，垂直方向干扰刺激表征并不会阻碍数字 SNARC 效应产生。另外，对数字大小和箭头方向的交互作用进行贝叶斯因子分析后发现，实验 1a 的数据支持备择假设（即数字大小和左右箭头方向存在交互作用），而实验 1b 的数据支持虚无假设（即数字大小和上下箭头方向不存在交互作用），该结果也在一定程度上支持左右箭头方向对数字加工产生影响，而上下箭头方向未对数字加工产生影响。Dehaene 等人(1993)采用 Restle(1970)提出的“心理数字线”(the mental number line, 简称 MNL)的概念，认为人们对数字进行心理表征时，依据得是一条从左端小数到右端大数的数字线，数字表征与反应存在直接的对应关系，因此，左手对表征在心理数字线左侧的小数反应更快，而右手对表征在心理数字线右侧的大数反应更快。本研究发现与心理数字线平行方位的干扰才会影响数字 SNARC 效应，与心理数字线垂直方位的干扰并不会影响数字 SNARC 效应，支持了 Dehaene 等人(1993)的心理数字线理论。

神经维度重叠理论为实验 1a 的结果提供了另一个可替代性解释。Fias 等人(2001)将数字作为任务无关信息，先后要求被试判断三角形指向、数字颜色、线段方向和图形形状，以数字 SNARC 效应的出现为指标，探究无关任务对相关任务的影响，结果发现，当目标物和干扰物具有相似的神经通路时，无关任务与相关任务竞争神经资源，被试对相关任务的处理效率降低，作为任务无关信息的数字表现出数字 SNARC 效应。他们据此将 Kornblum 等人(1990)提出的维度重叠理论进一步拓展到神经生理层面，认为相比于刺激和反应，神经通路的相似性是任务之间相互干扰的基础。具体到本研究的实验 1a，数字和箭头在同一实验任

务中激活了相似的神经通路，并争夺认知神经资源，由此，以数字构成的箭头作为实验材料，当要求被试判断数字大小时，作为干扰物的箭头表现出了空间效应，而数字 SNARC 效应消失。

实验 1a 的研究结果还为顺序信息的空间特性问题提供了间接的实验证据。本研究的实验 1 未发现数字的 SNARC 效应，而时秀兰(2010)在实验 1 中以数字组成的字母为实验材料进行数字大小比较任务，结果发现了数字的 SNARC 效应，这可能与字母不具有空间特性有关。以数字组成的字母为实验材料，当要求被试进行数字大小比较任务时，由于字母不具有空间特性，因此字母的整体优先加工优势并未对数字的空间表征产生干扰，从而能够表现出数字 SNARC 效应。Dodd 等人(2008)的研究为这一解释提供了实验证据。具体而言，他们使用目标探测范式，分别以数字(1, 2, 8, 9)、字母(a, b, y, z)、天数(Monday, Tuesday, Friday, Saturday)和月份(January, February, November, December)作为探测刺激，发现只有当数字作为探测刺激时，才会出现注意 SNARC 效应，结果支持数字具有空间特性而字母不具有空间特性。

5.2 干扰反应选择阶段阻碍数字 SNARC 效应发生

实验 2 并未发现数字 SNARC 效应，该实验中的整体箭头方向有可能从两方面来干扰反应选择阶段进而阻碍数字 SNARC 效应的发生。一方面，反应选择阶段的认知资源消耗可能影响数字 SNARC 效应发生。和本研究的实验 2 结果较为一致，时秀兰(2010)在实验 2 中以数字构成的字母作为实验材料，当要求被试判断字母的元音/辅音时，并未发现数字 SNARC 效应。当以数字构成的箭头/字母作为实验材料，要求被试进行与数字大小判断无关的任务时，数字可以被自动化加工并在无意识层面进行充分的空间表征(Dehaene & Akhavein, 1995; Gevers, Verguts, et al., 2006)。然而，由于实验任务为判断箭头方向/判断字母，消耗了反应选择阶段的认知资源，因此，数字 SNARC 效应消失。从认知资源消耗假设出发，未来研究可以尝试在同一实验中操纵实验任务的不同难度等级，来研究反应选择阶段的认知资源消耗对数字 SNARC 效应的影响。比如，王强强等人(2018)发现任务转换抑制了数字 SNARC 效应的产生。具体而言，相比任务重复组，任务转换组需要记住两套反应标准（对黑字进行数字大小比较任务、对绿字进行奇偶判断任务），在反应选择阶段会消耗更多的认知资源，因此，数字 SNARC 效应消失。他们进一步操纵了任务转换的频率——当数字和字母比例为“1：1”时，任务转换频率更高，消耗更多的认知资源；当比例为“1：6”或“6：1”时，任务转换频率更低，消耗更少的认知资源。实验结果发现，当比例为“1：6”或“6：1”时，数字 SNARC 效应出现，而当比例为“1：1”时，数字 SNARC 效应消失(王强强等, 2022)。该结果在一定程度

上支持反应选择阶段影响数字 SNARC 效应的认知资源消耗假设。

另一方面，刺激位置属性激活和反应编码竞争也可能影响数字 SNARC 效应。和本研究实验 2 的结果有所不同，Fias 等人(2001)以“叠加在数字上的三角形”作为实验材料，要求被试判断三角形的指向是向上还是向下，结果发现了数字 SNARC 效应。这可能是因为，作为相关任务的实验材料，三角形指向激活得是上下反应编码，而数字在反应选择阶段激活得是左右反应编码并与左右手反应相联结，此时，相关任务和无关任务的刺激位置激活属性和反应编码之间并不会产生竞争，从而产生了数字 SNARC 效应。然而，在本研究的实验 2 中，左右箭头方向和数字激活得都是左右反应编码，两者之间会产生竞争，而箭头方向的反应编码激活强度更大，由此发现了箭头方向和反应手的交互作用而并未发现数字 SNARC 效应。未来研究可以尝试分离并检验以上两种假设，进一步探讨反应选择阶段对数字 SNARC 效应的具体影响机制。

5.3 数字 SNARC 效应同时存在于刺激表征阶段和反应选择阶段

以往相关研究较少同时关注刺激表征和反应选择这两个认知加工阶段及其连续的认知加工过程，而基于对本研究结果的分析，刺激表征阶段和反应选择阶段对数字 SNARC 效应的影响可能并不是完全独立的。在实验 1a 中，箭头方向和反应手的交互作用显著，表现为类 Simon 效应，而实验 1b 并未发现类 Simon 效应。不管是基于视觉刺激还是听觉刺激，研究者们均发现当刺激位置和刺激反应相对应（相比于不对应）时反应更快，并将其命名为 Simon 效应(Simon, 1968; Simon & Small, 1969; Craft & Simon, 1970; Hedge & Marsh,1975)。由于箭头可以传递空间位置信息，左箭头指向左方位、右箭头指向右方位，因此，左手对左箭头反应更快，而右手对右箭头反应更快（在双手不交叉的情况下），表现为类 Simon 效应(Luo & Proctor, 2021)。维度重叠理论认为 Simon 效应的产生是由刺激位置属性和反应编码之间的映射关系引起的，刺激位置自动激活了同侧的反应(Kornblum et al., 1990)。在实验 1a 中，由于整体优先加工策略，左右箭头得到优先表征并激活了左右位置的反应编码，这与数字大小比较任务所要求的左右编码产生了竞争。然而，由于箭头方向干扰了数字在心理数字线上的空间表征，使其未能激活相应的反应编码，因此，即使要求被试进行数字大小判断任务，有充分的数据证据支持数字 SNARC 效应未出现，而有充分的数据证据支持存在箭头方向和反应手的交互效应，即表现出类 Simon 效应。而在实验 1b 中，上下箭头方向未对数字在水平方向心理数字线上的空间表征产生干扰，使其能够顺利激活相应的反应编码，从而产生数字 SNARC 效应。这启示我们刺激表征阶段和反应选择阶段可能并不是完全独立的两个阶段，而是相互联系的。刺激表征阶段的空间表征强度有可能会通过影响反应编码的激活强

度来影响反应选择阶段，两者的共同交互影响可能亦是数字 SNARC 效应发生的原因之一。

5.4 不足与展望

以往研究大多使用一位数的阿拉伯数字作为实验材料，而本研究创新性地使用复合刺激作为实验材料，为探讨数字 SNARC 效应的发生阶段提供了一种新思路。但是，本研究也有许多不足之处，主要体现在以下两个方面。一方面，本研究为行为实验研究，主要以反应时作为反应指标，未能对实验任务中被试的认知过程进行更加精确的测量。当前已有大量研究从电生理层面出发，为探讨数字 SNARC 效应提供了更为精确的实验证据。例如，Schwarz 和 Keus(2004)采用眼动技术对数字 SNARC 效应进行探讨，Salillas 等人(2008)、Gevers, Ratinckx 等人(2006)借助 ERP 技术开展了该效应相关的脑研究。然而，在当前的电生理研究中，所使用得材料仍多为一位数的阿拉伯数字。未来研究可以考虑创新实验材料和实验任务开展相关电生理研究，从而探究数字 SNARC 效应在不同层面上的发生机制，以更好地认识其发生本质。另一方面，本研究的实验 2 仅使用一种实验任务，结果发现干扰反应选择阶段可以影响数字 SNARC 效应，未来研究可以尝试进一步探讨反应选择阶段对数字 SNARC 效应的具体影响机制。

6 结论

本研究采用整体-局部范式构建了一种复合实验刺激——由数字构成的箭头，并通过 3 个实验探究了数字 SNARC 效应的发生阶段，主要得到如下结论：（1）干扰数字加工的刺激表征阶段阻碍数字 SNARC 效应产生，且只有干扰发生在水平方向（而非垂直方向）上才起作用；（2）干扰反应选择阶段阻碍数字 SNARC 效应的产生，且认知资源消耗假设、刺激位置属性激活和反应编码竞争假设是反应选择阶段影响数字 SNARC 效应发生的两个可能解释机制。

参考文献

Casarotti, M., Michielin, M., Zorzi, M., & Umiltà, C. (2007). Temporal order judgment reveals how number magnitude affects visuospatial attention. *Cognition, 102*(1), 101–117.

Craft, J. L., & Simon, J. R. (1970). Processing symbolic information from a visual display: Interference from an irrelevant directional cue. *Journal of Experimental Psychology, 83,* 415–420.

Dehaene, S., & Akhavein, R. (1995). Attention, automaticity, and levels of representation in number processing.

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, *21*(2), 314–326.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraus, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology General, 122*(3), 371–396.

Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance, 16*(3), 626–641.

Dodd, M. D., Stigchel, S. V. D., Leghari, M. A., Fung, G., & Kingstone, A. (2008). Attentional SNARC: there's something special about numbers (let us count the ways). *Cognition, 108*(3), 810–818.

Fias, W., Lauwereyns, J., & Lammertyn, J. (2001). Irrelevant digits affect feature-based attention depending on the overlap of neural circuits. *Cognitive Brain Research, 12*(3), 415–423.

Fischer, M. H., Warlop, N., Hill, R. L., & Fias, W. (2004). Oculomotor bias induced by number perception. *Experimental Psychology, 51*(2), 91–97.

Gevers, W., Caessens, B., & Fias, W. (2005). Towards a common processing architecture underlying Simon and SNARC effects. *European Journal of Cognitive Psychology, 17*(5), 659–673.

Gevers, W., Ratinckx, E., De Baene, W., & Fias, W. (2006). Further evidence that the SNARC effect is processed along a dual-route architecture. *Experimental Psychology, 53*(1), 58–68.

Gevers, W., Verguts, T., Reynvoet, B., Caessens, B., & Fias, W. (2006). Numbers and space: A computational model of the SNARC effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(1), 32–44.

He, H., Yu, H. H., & Liu, J. P. (2015). Study on number processing with Global-Local aspects of compound visual stimulations. *Psychological Exploration, 35*(6), 499–501.

[何华, 俞华华, 刘建平. (2015). 整体–局部条件下的数字加工研究. *心理学探新, 35*(06), 499–501.]

Hedge, A., & Marsh, N. W. A. (1975). The effect of irrelevant spatial correspondences on two-choice response-time. *Act Psychologica, 39,* 427–439.

Hu, C. P., Kong, X. Z., Wagenmakers, E.-J., Ly, A., & Peng, K. P. (2018). The Bayes factor and its implementation in JASP: A practical primer. *Advances in Psychological Science, 26*(6), 951–965.

[胡传鹏, 孔祥祯, Wagenmakers, E.-J., Ly, A., 彭凯平. (2018). 贝叶斯因子及其在 JASP 中的实现. *心理科学进展, 26*(6), 951-965.]

Jeffreys, H. (1961). *Theory of probability (3rd Ed.).* Oxford, UK: Oxford University Press.

Kang, W., Yang, M., & Wang, L. (2013). SNARC Effect: Current Research, Theories and Suggestions. *Journal of Psychological Science, 36*(5), 1242–1248.

[康武，杨敏，王丽. (2013). SNARC 效应：现状、理论及建议. *心理科学, 36*(5), 1242–1248.]

Keus, I. M., Jenks, K. M., & Schwarz, W. (2005). Psychophysiological evidence that the SNARC effect has its functional locus in a response selection stage. *Cognitive Brain Research, 24*(1), 48–56.

Keus, I. M., & Schwarz, W. (2005). Searching for the functional locus of the SNARC effect: Evidence for a response-related origin. *Memory and Cognition, 33*(4), 681–695.

Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility-a model and taxonomy. *Psychological Review, 97*(2), 253–270.

Li, Q., Nan, W., Wang, K., & Liu, 2004X. (2014). Independent processing of stimulus-stimulus and stimulus-response conficts. *PLoS ONE, 9*(2), e89249.

Luo, T., Qiu, R. Y., Chen, B., & Fu, S. M. (2018). The stimulus representation of unconscious information and its temporal characteristics. *Acta Psychologica Sinica, 50*(5), 473–482.

[罗婷，邱茹依，陈斌，傅世敏. (2018). 无意识信息的刺激表征及其时间特性. *心理学报, 50*(5), 473–482.]

Luo, C., & Proctor, R. W. (2021). Word-and arrow-based Simon effects emerge for eccentrically presented location words and arrows. *Psychological Research, 85,* 816–827.

Nan, W. Z., Yan, L. Z., Yang, G. C., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). Two processing stages of the SNARC effect. *Psychological Research, 86,* 375–385.

Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology, 9*(3), 353–383.

Restle, F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology, 83*(2), 274–278.

Salillas, E., Elyagoubi, R., & Semenza, C. (2008). Sensory and cognitive processes of shifts of spatial attention induced by numbers: An ERP study. *Cortex, 44*(4), 406–413.

Scerrati, E., Lugli, L., Nicoletti, R., & Umilta, C. (2017). Comparing Stroop-like and Simon effects on perceptual features. *Scientific Reports, 7*(1), 17815.

Schwarz, W., & Keus, I. M. (2004). Moving the eyes along the mental number line: Comparing SNARC effects with saccadic and number responses. *Perception and Psychophysics, 66*(4), 651–664.

Shi, X. L. (2010). *Spatial representations of numbers in paradigm of Global-Local processing* (Unpublished master's thesis). Soochow University.

[时秀兰. (2010). *整体-局部加工范式下的数字空间效应* (硕士学位论文). 苏州大学.]

Simon, J. R., & Rudell, A. P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology, 51*(3), 300–304.

Simon, J. R. (1968). Effect of ear stimulated on reaction time and movement time. *Journal of Experimental Psychology, 78,* 344–346.

Simon, J. R., & Small, A. M., Jr. (1969). Processing auditory information: Interference from an irrelevant cue. *Journal of Applied Psychology, 53,* 433–435.

Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica, 30,* 276–315.

Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology, 18*(6), 643–662.

Tlauka, M. (2002). The processing of numbers in choice-reaction tasks. *Australian Journal of Psychology, 54*, 94–98.

Wagenmakers, E.-J., Love, J., Marsman, M., Jamil, T., Ly, A., Verhagen, J., … van Doorn, J. (2017). Bayesian inference for psychology. Part II: Example applications with JASP. *Psychonomic Bulletin & Review, 25,* 58–76.

Wang, Q. Q., Shi, W. D., & Ye, J. (2018). The impact effect of the task switch on the SNARC effect. *Chinese Journal of Applied Psychology, 24*(3), 271–279.

[王强强, 石文典, 叶晶. (2018). 任务转换对 SNARC 效应的抑制. *应用心理学, 24*(3), 271–279.]

Wang, Q. Q., Zhang, Q., Shi, W. D., Wang, Z. W., & Zhang, P. C. (2022). Online construction of spatial representation of numbers: Evidence from the SNARC effect in number processing in interferential situations. *Acta Psychologica Sinica, 54*(7), 761–771.

[王强强, 张琦, 石文典, 王志伟, 章鹏程. (2022). 数字空间表征的在线建构：来自干扰情境中数字 SNARC 效应的证据. *心理学报, 54*(7), 761–771.]

Wang, Y. H., Bergh, D., Aust, F., Ly, A., Wagenmakers, E.-J., & Hu, C. P. (2023). The Implementation of Bayesian ANOVA in JASP: A Practical Primer. *Psychology: Techniques and Applications, 11*(9), 528–541.

[王允宏, Bergh, D., Aust, F., Ly, A., Wagenmakers, E.-J., 胡传鹏. (2023). 贝叶斯方差分析在 JASP 中的实现. *心理技术与应用, 11*(9), 528–541.]

Wu, F., Gu, Q., Shi, Z. H., Gao, Z. F., & Shen, M. W. (2018). Striding over the "Classical Statistical Inference Trap"—Application of Bayes Factors in Psychological Studies. *Chinese Journal of Applied Psychology, 24*(3), 195–202.

[吴凡, 顾全, 施壮华, 高在峰, 沈模卫. (2018). 跳出传统假设检验方法的陷阱——贝叶斯因子在心理学研究领域的应用. *应用心理学, 24*(3), 195–202.]

Xu, X. D., & Liu, C. (2006). The spatial character of number. *Advances in Psychological Science, 14*(6), 851–858.

[徐晓东, 刘昌. (2006). 数字的空间特性. *心理科学进展, 14*(6), 851–858.]

Xiang, X. R., Yan, L. Z., Fu, S. M., & Nan, W. Z. (2022). Processing stage flexibility of the SNARC effect: Task relevance or magnitude relevance? *Frontiers in psychology, 13,* 1022999.

Yan, L. Z., Yang, G. C., Nan, W. Z., Liu, X., & Fu, S. M. (2021). The SNARC effect occurs in the response-selection stage. *Acta Psychologica, 215,* 103292.

Yan, L. Z., Chen, Y. X., Liu, X., Fu, S. M., & Nan, W. Z. (2022). The flexibility of spatial-numerical associations and its internal mechanism. *Advances in Psychological Science, 30*(1), 51–64.

[颜丽珠, 陈妍秀, 刘勋, 傅世敏, 南威治. (2022). 数字空间联结的灵活性及其内在机制. *心理科学进展, 30*(1), 51–64.]

The occurrence stage of SNARC effect

WANG Chengcheng[2,3], ZHAO Yufei[1], SHENG Yingying[2,3], ZHAO Qingbai[2,3], XIAO Mengshi[1], HAN Lei[1]

([1]*School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan* 250014, *China*) ([2]*Key Laboratory of Adolescent Cyberpsychology and Behavior(CCNU), Ministry of Education, Wuhan* 430079, *China*; [3]*Key Laboratory of Human Development and Mental Health of Hubei Province, School of Psychology, Central China Normal University, Wuhan* 430079, *China*)

Abstract

The spatial-numerical association of response codes (SNARC) effect demonstrates that responding to small numbers with the left key is faster than responding with the right key, while the converse is true for large numbers. A long-standing debate has been whether the SNARC effect occurs only in the early stimulus-representation stage, only in the late response-selection stage or in both stages simultaneously. The study aims to manipulate two processing stages to investigate the effects of interference with the early stimulus-representation and late response-selection on the SNARC effect.

Combining numbers with arrows by the global and local paradigm, a compound stimulus—arrows made up with numbers—was designed as experimental materials. In experiment 1a, a within-subject experimental design with 2(Number magnitude: small, large) × 3 (Arrow direction: left, right, left-right bidirectional) × 2 (Response hand: left hand, right hand) was conducted. 40 subjects were asked to judge whether the number is larger or smaller than 5. In experiment 1b, a within-subject experimental design with 2(Number magnitude: small, large) × 3 (Arrow direction: up, down, up-down bidirectional) × 2 (Response hand: left hand, right hand) was employed. 40 subjects were asked to judge whether the number is larger or smaller than 5. The experimental design in experiment 2 is as the same as the experiment 1a, however, 40 subjects were asked to judge whether the arrow is left or right.

Results showed that horizontal interference with the spatial representation of numbers hindered the emergence of the SNARC effect (Experiment 1a), however, vertical interference with the spatial representation of numbers had no influence on the SNARC effect (Experiment 1b). Interference

with the response selection stage impeded the emergence of the SNARC effect (Experiment 2).

According to the global precedence theory, global representation of horizontal arrow directions interferes with the spatial representation process of local numbers, thereby the SNARC effect in experiment 1a disappeared. According to the mental number line theory, individuals mentally represent numbers based on a left-to-right mental number line. Thus, the interference from the global representation of vertical arrow directions doesn't influence the SNARC effect in experiment 1b. When arrows made up with numbers are used in experiment 2 requiring participants to judge arrow directions, the numbers can be automatically processed and adequately spatially represented at an unconscious level. However, due to the arrow direction judgment task consumes cognitive resources or occupies the corresponding reaction position during the response-selection stage, the SNARC effect diminishes.

In summary, both the early stimulate-representation stage and the late response-selection stage play important roles in the occurrence of SNARC effect, supporting the two-stage processing model of SNARC effect.

Keywords the global and local paradigm, SNARC effect; the early stimulate-representation stage, the late response-selection stage